



Determination of Boiler Building Verticality in Power Plant Construction using Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Mohamad Bagas Setiawan¹, Yulaikhah², Ruli Andaru²

¹ Alumni Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, Indonesia

² Staf Pengajar Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, Indonesia

Article History:

Received 12 November 2018

Received in revised form 6 June 2019

Accepted 11 June 2019

Available online 28 June 2019

Keywords:

terrestrial laser scanner, tingkat verticality, konstruksi boiler, toleransi verticality, PLTU

Corresponding Author:

Mohamad Bagas Setiawan

Email: mohamad.bagas.st@gmail.com

ABSTRACT. Nowadays, Indonesian government is focusing on build up infrastructures, especially power plant to fulfil electrical energy needs. One of the power plants that will be built up is Waai power plant which located on Waai Village, Maluku Province. Waai power plant had been postponed since 2014. In order to build this power plant, the advisability of the building needed to be checked from its verticality level. This level was determined by Terrestrial Laser Scanner (TLS). The TLS's point clouds were registered using two methods, there are target to target and cloud to cloud methods. There are 65 beams on the power plant boiler building, but only 31 beams that used as the samples to assign the verticality of the boiler construction. The verticality level was set on the X-axis, Y-axis, and the resultant of the X and Y axis by using Pythagoras theorem after the bottom and top coordinates from each beam was determined. The Queensland Building and Construction Admission Standards and Tolerances Guide 2016 was used as tolerance of verticality level. The result of the verticality calculation presented on the X-axis consisted from $-0^{\circ} 1' 26,678''$ to $0^{\circ} 4' 11,778''$ with the average was $0^{\circ} 1' 40,820''$ and major direction pointed the positive axis. On the Y-axis, the average was $-0^{\circ} 0' 45,772''$ with $-0^{\circ} 3' 33,345''$ as minimum and $0^{\circ} 1' 25,319''$ as the maximum and the major direction went to the negative axis. The verticality on the resultant of X and Y axis was from $0^{\circ} 0' 45,225''$ until $0^{\circ} 4' 15,674''$ with the average was $0^{\circ} 2' 27,057''$ and the direction was to the southeast. After the verticality number was compared with the tolerance, the verticality level was smaller than the standard on each beam. The conclusion is the boiler building on the Waai power plant can be categorized safe to reconstruct.

© Author(s) 2019. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Dalam rangka melaksanakan kebijakan listrik 35000 mega-watt dalam kurun waktu 5 tahun (Biro Perencanaan dan Kerja Sama Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya, 2015), pemerintah melakukan pembangunan pembangkit listrik. Salah satu pembangkit listrik yang akan dibangun kembali setelah lama mangkrak terhitung dari tahun 2014 adalah PLTU di Desa Waai, Salahutu, Maluku Tengah. Oleh karena itu, pemeriksaan kelayakan bangunan perlu dilakukan dengan menentukan tingkat *verticality* bangunan tersebut.

Pendeteksian tingkat *verticality* bangunan biasanya ditentukan dengan *Total Station* (TS), *Global Positioning*

System (GPS), dan akselerometer. Namun saat ini, *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berkembang dengan prinsip kerja penginderaan jauh untuk memperoleh data berupa *point cloud* yang dapat digunakan pula dalam pendeteksian tingkat *verticality*. Data yang diperoleh dari pengukuran TLS lebih detail jika dibandingkan dengan metode lain. *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) merupakan suatu sistem penginderaan jauh untuk menentukan jarak suatu objek dengan menganalisis pantulan sinar laser yang mengenai permukaan suatu objek (Soudarissanane, 2016). TLS dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat *verticality* bangunan (Kregar, dkk., 2015). Selain itu, pengukuran dengan TLS dapat dilakukan dalam waktu yang relatif lebih cepat jika dibandingkan

dengan metode lain (Kregar, dkk., 2015). Keunggulan pengukuran dengan TLS yaitu data *point cloud* yang diperoleh dapat untuk membentuk model 3D dari bangunan yang diukur.

Paper ini menentukan tingkat *verticality* konstruksi boiler yang ada di PLTU Desa Waai, Salahutu, Maluku Tengah, Maluku menggunakan data dari pengukuran TLS. Setelah itu, tingkat kelayakan bangunan tersebut ditentukan dengan membandingkan tingkat *verticality* yang diperoleh dengan standar *Queensland Building and Construction Admission Standards and Tolerances Guide* tahun 2016.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Data berupa *point cloud* konstruksi boiler hasil pengukuran TLS pada bulan September 2016. Pengukuran dilakukan dengan TLS FARO *Focus^{3D} X330* dengan kerapatan *point cloud* (resolusi) $\frac{1}{4}$ dan *quality scan 2x*. Pengukuran dilakukan di PLTU Desa Waai, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Lokasi PLTU ditunjukkan pada Gambar 2.1.

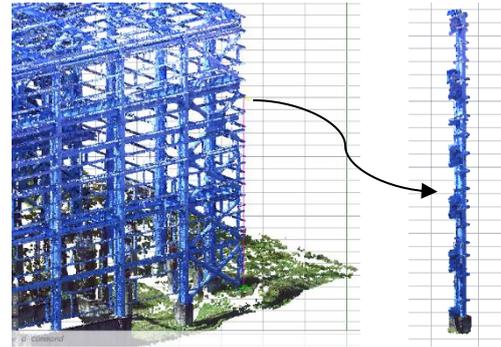


Gambar 2.1. Lokasi PLTU Waai Ambon

2.2. Metodologi

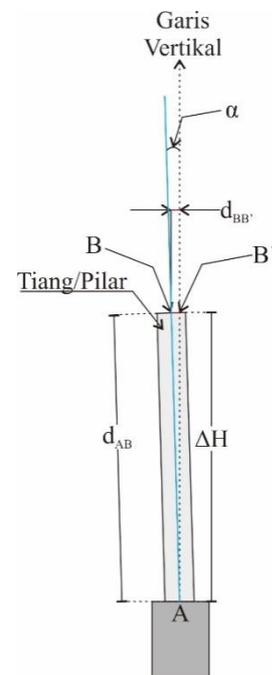
Verticality bangunan atau disebut pula *plumbness* (Victorian Building Commission, 2015) merupakan keadaan dimana titik puncak bangunan seharusnya memiliki koordinat (x,y) yang sama dengan titik pada pondasi yang ada di bawahnya. Penentuan *verticality* sangat penting untuk menentukan apakah bangunan perlu diperbaiki atau tidak (CD Surveys, 2015). Penentuan *verticality* bangunan boiler di PLTU ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap pengukuran, registrasi data *point cloud*, ekstraksi garis dari *point cloud*, perhitungan *verticality* sampel, dan perbandingan hasil *verticality* dengan standar yang ada.

Pengukuran dilakukan dengan metode *target based* yang kemudian *point cloud* hasil pengukuran TLS yang terdiri atas beberapa *scan world* diregistrasi sehingga terbentuk objek konstruksi boiler yang utuh. Selanjutnya, proses ekstraksi garis dilakukan dalam *Autodesk AutoCAD 2018*. Dalam penentuan tingkat *verticality* dipilih beberapa sampel yang merupakan tiang utama yang ada pada konstruksi boiler. Contoh sampel tiang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sampel tiang yang digunakan

Langkah selanjutnya yaitu ekstraksi titik ujung atas dan ujung bawah setiap sampel. Proses ekstraksi titik dimulai dengan memotong *point cloud* tiang secara horizontal dengan fitur *section plane-top* dengan *section type slice*. Selanjutnya, pembentukan segmen garis dilakukan dari hasil pemotongan *point cloud* dengan memasukkan beberapa parameter yaitu menentukan bagian *point cloud* yang akan diekstrak, geometri luaran yang diinginkan, jumlah maksimal titik pada *point cloud* yang diproses, serta toleransi ekstraksi (panjang garis minimal, toleransi jarak, dan toleransi sudut). Parameter-parameter tersebut merupakan parameter yang dibutuhkan untuk ekstraksi dengan metode *Quality Error Metrics (QEM)* (Hidaka, dkk, 2018). Setelah fitur garis terbentuk, kemudian menentukan titik ujung bawah dan ujung atas sampel yang merupakan titik perpotongan segmen garis yang terbentuk dari proses pembentukan segmen garis dari data *point cloud*.



Gambar 2.3. Ilustrasi tingkat *verticality* (modifikasi *Queensland Building and Construction Commission, 2016*)

Keterangan Gambar 2.3:

A : titik ujung bawah tiang

- B : titik ujung atas tiang
- B' : proyeksi titik ujung atas tiang terhadap garis vertikal
- α : sudut kemiringan tiang yang diuji
- d_{AB} : panjang tiang
- ΔH : beda tinggi titik ujung bawah dan ujung atas tiang
- $d_{BB'}$: besar penyimpangan

Tingkat *verticality* dihitung dengan teorema *Phytagoras* untuk memperoleh sudut kemiringan tiang sampel. Tingkat *verticality* masing-masing sampel dihitung pada arah sumbu X, sumbu Y, dan resultan antara sumbu X dan sumbu Y. Tingkat *verticality* tiang diilustrasikan pada Gambar 2.3. dan sudut kemiringan (α) dihitung dengan rumus (1).

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{d_{BB'}}{\Delta H} \quad (1)$$

Besarnya penyimpangan ditentukan dengan nilai koordinat titik ujung bawah (X_{bawah} , Y_{bawah} , Z_{bawah}) dan koordinat titik ujung atas (X_{atas} , Y_{atas} , Z_{atas}). Besarnya penyimpangan ada arah sumbu X ($d_{BB'_x}$), dihitung dengan rumus (2).

$$d_{BB'_x} = X_{atas} - X_{bawah} \quad (2)$$

Besar penyimpangan pada arah sumbu Y ($d_{BB'_y}$), dihitung dengan rumus (3).

$$d_{BB'_y} = Y_{atas} - Y_{bawah} \quad (3)$$

Penyimpangan pada resultan antara sumbu X dan sumbu Y ($d_{BB'_{xy}}$), dihitung dengan rumus (4).

$$d_{BB'_{xy}} = \sqrt{(X_{atas} - X_{bawah})^2 + (Y_{atas} - Y_{bawah})^2} \quad (4)$$

Perhitungan besarnya sudut kemiringan yang menunjukkan tingkat *verticality* bangunan perlu ditentukan pula beda tinggi titik ujung bawah dan ujung atas (ΔH) yang dihitung dengan rumus (5).

$$\Delta H = Z_{atas} - Z_{bawah} \quad (5)$$

Jika nilai penyimpangan dan beda tinggi yang ada pada rumus (1) disubstitusi dengan nilai pada rumus (2) dan (5), maka akan diperoleh rumus (6).

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{X_{atas} - X_{bawah}}{Z_{atas} - Z_{bawah}} \quad (6)$$

Jika penyimpangan dan beda tinggi pada rumus (1) disubstitusi dengan nilai pada rumus (3) dan (5) diperoleh rumus (7).

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{Y_{atas} - Y_{bawah}}{Z_{atas} - Z_{bawah}} \quad (7)$$

Jika besar penyimpangan dan beda tinggi pada rumus (1) disubstitusi dengan besar penyimpangan pada rumus (4) dan rumus (5) diperoleh rumus (8).

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sqrt{(X_{atas} - X_{bawah})^2 + (Y_{atas} - Y_{bawah})^2}}{Z_{atas} - Z_{bawah}} \quad (8)$$

Hasil perhitungan tingkat *verticality* perlu dibandingkan dengan nilai toleransi *verticality*. Toleransi *verticality* mengacu standar *Queensland Building and Construction Admission Standards and Tolerances Guide* tahun 2016. Toleransi *verticality* yang diperbolehkan menurut standar tersebut tidak boleh lebih dari 20 mm jika dibandingkan dengan total ketinggian tiang, sehingga toleransi *verticality* dapat dihitung menggunakan rumus (1) dengan mensubstitusi nilai $d_{BB'}$ dengan nilai 20 mm baik pada arah sumbu X, sumbu Y, maupun resultan sumbu X dan sumbu Y. Jika hasil perhitungan tingkat *verticality* sampel memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan toleransi yang ada, maka sampel dikatakan tegak. Akan tetapi, jika hasil perhitungan tingkat *verticality* sampel memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan toleransinya, maka sampel dikatakan miring.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Ekstraksi Titik dan Hasil Tingkat *Verticality*

Proses ekstraksi titik bagian bawah dan bagian atas tiang menghasilkan beberapa informasi yaitu nilai koordinat ujung bawah dan ujung atas sampel. Daftar koordinat titik hasil ekstraksi ditunjukkan pada Tabel 3.1, sedangkan posisi sampel ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1 Koordinat titik uji ujung bawah dan ujung atas tiang

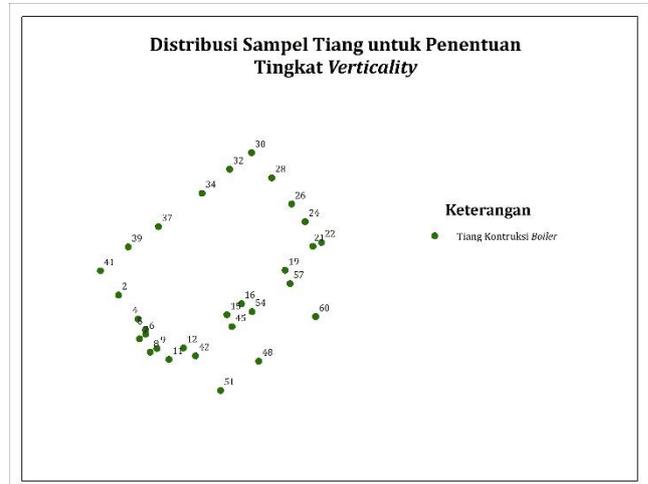
No. Tiang	Ujung Atas Tiang			Ujung Bawah Tiang		
	Xb (m)	Yb (m)	Zb (m)	Xa (m)	Ya (m)	Za (m)
2	13,588	184,963	38,814	13,574	184,965	19,400
4	19,930	177,024	39,000	19,915	177,020	19,400
5	22,427	173,471	33,877	22,409	173,468	19,125
6	22,475	172,024	41,413	22,474	172,040	19,375
7	20,484	170,526	42,765	20,483	170,545	19,454
8	23,916	166,061	44,287	23,924	166,077	19,487
9	26,166	167,260	40,382	26,156	167,277	19,032
11	30,105	163,655	42,595	30,091	163,653	19,468
12	34,880	167,489	43,356	34,876	167,493	20,647
15	49,128	178,452	43,731	49,119	178,459	19,400
16	53,864	182,106	40,537	53,844	182,109	19,400
19	68,132	193,129	42,688	68,115	193,128	19,250
21	77,221	200,987	42,580	77,205	200,984	19,252
22	80,013	202,270	42,750	79,995	202,277	19,450
24	74,722	209,141	44,760	74,705	209,149	19,400
26	70,258	214,940	45,907	70,241	214,949	19,250
28	63,769	223,632	36,247	63,750	223,636	19,400

30	57,154	231,901	37,697	57,145	231,913	19,400
32	50,002	226,423	38,946	49,991	226,436	19,400
34	40,952	218,557	31,750	40,945	218,557	19,150
37	26,685	207,571	34,354	26,675	207,565	19,150
39	16,758	200,787	38,787	16,742	200,795	19,300
41	7,672	192,919	33,982	7,665	192,934	19,300
42	38,807	164,870	50,729	38,807	164,884	19,100
45	50,778	174,491	50,641	50,767	174,492	19,400
48	59,536	163,113	51,314	59,521	163,110	19,400
51	46,968	153,444	53,287	46,982	153,455	19,256
54	57,278	179,493	43,450	57,261	179,483	19,400
57	69,737	188,704	46,500	69,721	188,712	19,250
60	78,123	177,802	50,100	78,106	177,802	19,500
63	66,079	168,545	53,100	66,083	168,538	19,400

Koordinat pada Tabel 3.1 menunjukkan posisi sampel yang digunakan untuk melakukan perhitungan tingkat *verticality*. Secara visual, koordinat tiang-tiang yang digunakan sebagai sampel dapat digambarkan pada Gambar 3.1.

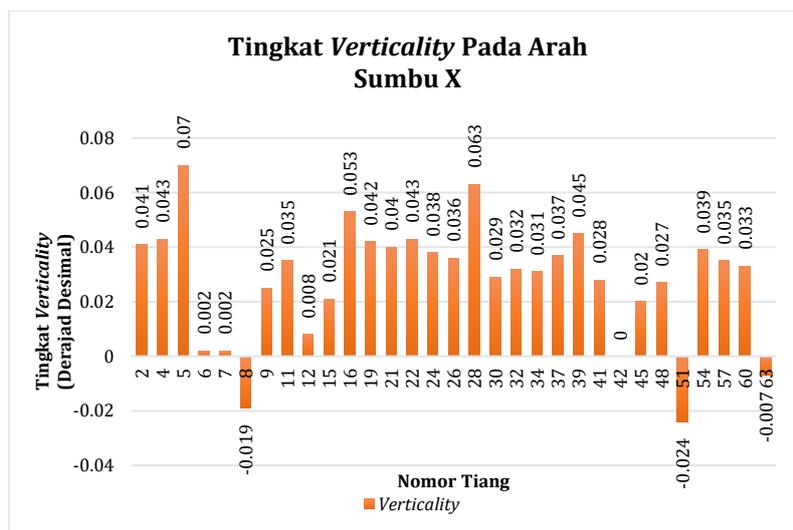
Tingkat *verticality* diperoleh dari selisih koordinat hasil ekstraksi titik bagian atas dan bagian bawah sampel. Selisih koordinat dihitung pada arah sumbu X dan sumbu Y. Selisih koordinat (penyimpangan) masing-masing tiang pada arah sumbu X berkisar antara -1,4 hingga 1,9 cm dengan mayoritas mengarah ke arah sumbu-X positif. Penyimpangan masing-masing tiang pada arah sumbu Y berkisar antara -1,9 hingga 1,0 cm dengan mayoritas

mengarah ke arah sumbu-Y negatif. Setelah diperoleh selisih koordinat masing-masing tiang, selanjutnya dihitung nilai resultan dari kedua sumbu tersebut dan diperoleh penyimpangan yang berkisar antara 0,55 cm hingga 1,96 cm. Selain diperoleh penyimpangan pada arah sumbu X, sumbu Y, dan resultannya, diperoleh pula tinggi masing-masing sampel tiang yang berkisar antara 12,600 hingga 34,032 meter.



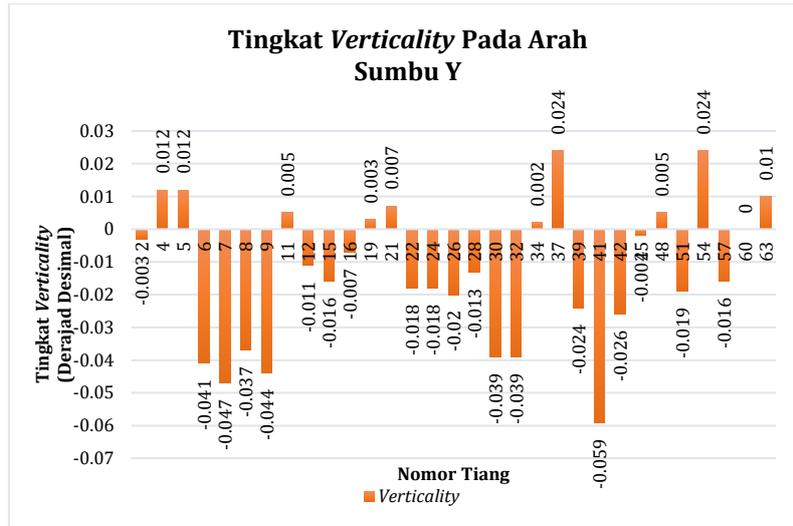
Gambar 3.1. Posisi sampel tiang

Berdasarkan besarnya penyimpangan dan beda tinggi yang diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan tingkat *verticality* menggunakan rumus 6, rumus 7, dan rumus 8 sehingga diperoleh tingkat *verticality* pada arah sumbu X, sumbu Y, dan resultannya. Tingkat *verticality* pada arah sumbu X ditunjukkan pada Gambar 3.2.



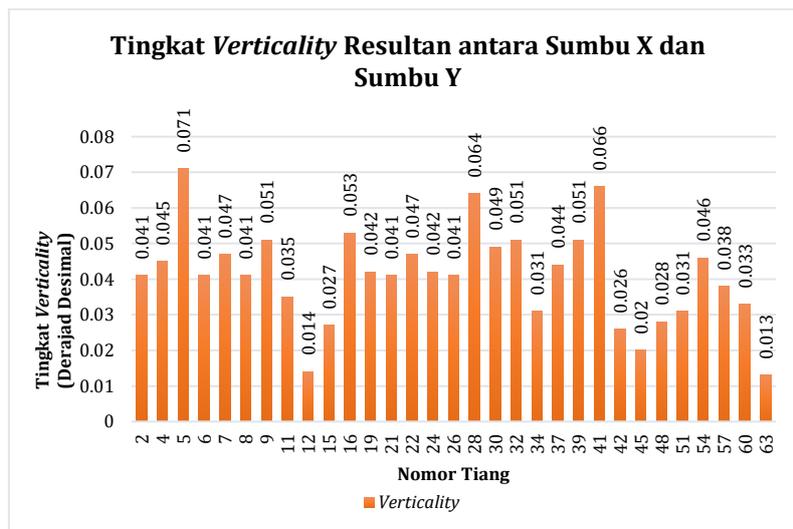
Gambar 3.2. Grafik tingkat *verticality* pada arah sumbu X

Berdasarkan Gambar 3.2. dapat diperoleh tingkat *verticality* terhadap sumbu X berkisar antara $-0^{\circ} 1' 26,678''$ hingga $0^{\circ} 4' 11,778''$. Arah penyimpangan mayoritas mengarah ke sumbu X positif dengan jumlah 28 tiang. Tingkat *verticality* pada arah sumbu Y ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Grafik tingkat verticality pada arah sumbu Y

Berdasarkan Gambar 6, tingkat verticality pada arah sumbu Y berkisar antara $-0^{\circ} 3' 33,345''$ hingga $0^{\circ} 1' 25,319''$. Mayoritas sampel mengarah ke arah sumbu Y negatif yaitu berjumlah 21 tiang. Tingkat verticality resultan sumbu X dan sumbu Y ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Grafik tingkat verticality resultan antara sumbu-X dan sumbu-Y

Berdasarkan Gambar 3.4. dapat diketahui bahwa tingkat verticality dari resultan antara sumbu X dan sumbu Y berkisar antara $0^{\circ} 0' 45,225''$ hingga $0^{\circ} 4' 15,674''$. Berdasarkan ke-31 sampel tiang yang digunakan terdapat 19 tiang dengan penyimpangan mengarah ke arah Tenggara, 2 tiang ke arah Barat Daya, 1 tiang mengarah ke arah Barat Laut, dan 9 tiang mengarah ke arah Timur Laut. Berdasarkan hasil tersebut, maka mayoritas sampel yang digunakan menyimpang ke arah Tenggara.

3.2. Hasil Uji Tingkat Verticality

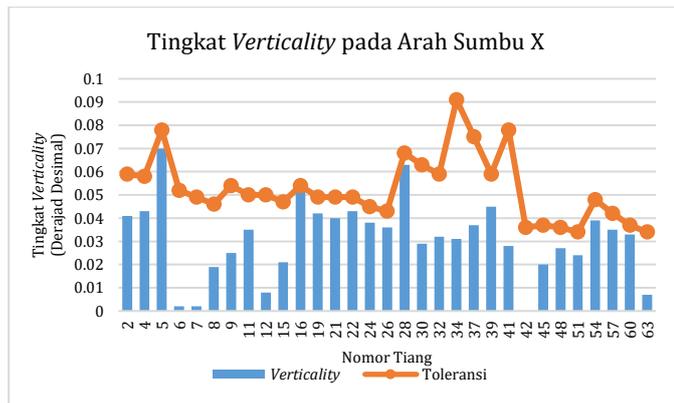
Pengujian tingkat verticality dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan tingkat verticality

masing-masing sampel dengan nilai toleransinya. Menurut standar yang diterbitkan oleh *Queensland Building and Construction Commission* (2016), dijelaskan bahwa untuk suatu tiang dalam 12 bulan pertama sejak selesai dibangun dikatakan tidak vertikal apabila mengalami penyimpangan dari garis vertikal sebesar lebih dari 20 mm untuk total ketinggian tiang. Toleransi tingkat verticality dihitung menggunakan rumus 1 dengan mensubstitusikan nilai $d_{BB'}$ dengan nilai toleransi verticality yaitu 20 mm (0,020 m).

Masing-masing tiang memiliki toleransi yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan beda tinggi setiap titik ujung bawah dan titik ujung atas masing-masing tiang sampel memiliki nilai yang berbeda. Nilai beda tinggi tersebut

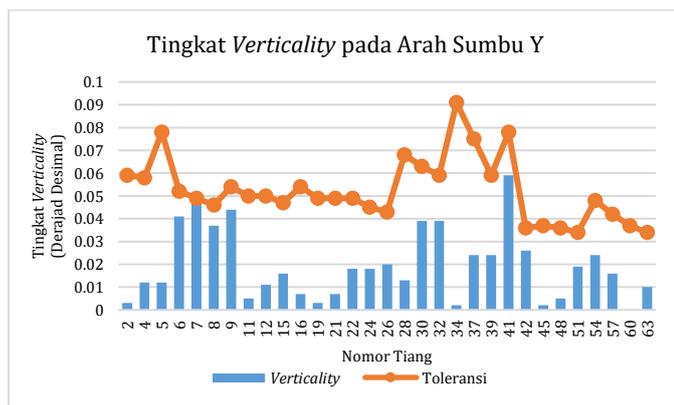
merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam perhitungan toleransi tingkat *verticality* dari suatu tiang. Pengujian tingkat *verticality* dilakukan pada arah sumbu X, pada arah sumbu Y, dan resultan antara sumbu X dan sumbu Y.

Pada ilustrasi perbandingan antara tingkat *verticality* dan toleransi dalam satu grafik, tingkat *verticality* perlu diabsolutkan terlebih dahulu karena nilai toleransi *verticality* selalu bernilai positif dapat dilihat pada Gambar 3.5. s.d. 3.7. Grafik perbandingan antara tingkat *verticality* dengan toleransi pada arah sumbu X ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik perbandingan tingkat *verticality* dan toleransinya pada arah sumbu X

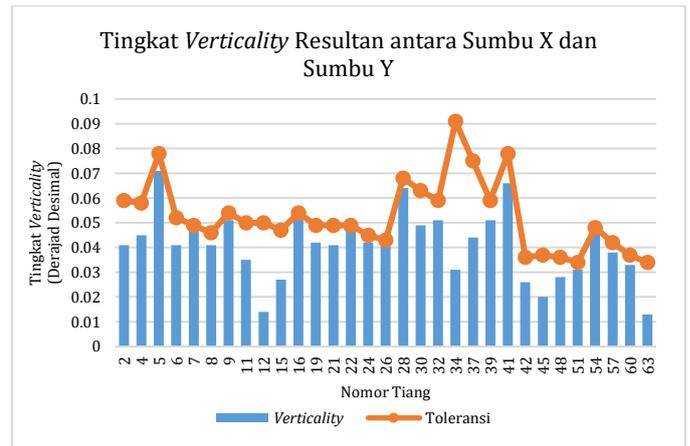
Berdasarkan Gambar 3.5, dapat diketahui bahwa tingkat *verticality* masing-masing sampel tiang yang digunakan memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan toleransinya. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingkat *verticality* masing-masing sampel berada di bawah garis toleransinya. Grafik tingkat *verticality* dan toleransi pada arah sumbu Y ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Grafik perbandingan tingkat *verticality* dan toleransinya pada arah sumbu Y

Gambar 3.6. menunjukkan tingkat *verticality* sampel tiang pada arah sumbu Y berada di bawah nilai toleransi masing-masing sampel. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa nilai tingkat *verticality* masing-masing sampel pada arah sumbu Y lebih kecil dibandingkan dengan toleransinya. Grafik perbandingan tingkat *verticality* dan

toleransi pada resultan antara sumbu X dan sumbu Y ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Grafik perbandingan tingkat *verticality* dan toleransinya pada resultan antara sumbu X dan sumbu Y

Gambar 3.7. menunjukkan bahwa keseluruhan sampel yang digunakan memiliki tingkat *verticality* yang lebih kecil dibandingkan dengan toleransinya pada resultan antara sumbu X dan sumbu Y. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingkat *verticality* keseluruhan sampel yang digunakan berada dibawah garis toleransinya.

Berdasarkan ketiga grafik tersebut, diperoleh tingkat *verticality* yang bernilai lebih kecil daripada toleransinya baik pada arah sumbu X, sumbu Y, maupun pada resultan antara sumbu X dan sumbu Y. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tingkat *verticality* masing-masing tiang masih dalam toleransi. Untuk mengetahui kelayakan suatu bangunan diperlukan pengujian kekuatan pondasi dan tingkat *verticality*. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari kajian ini, dari sisi tingkat *verticality* bangunan boiler di PLTU Waai Ambon masih berada dalam batas toleransi, hal tersebut mengindikasikan bahwa salah satu syarat kelayakan bangunan telah terpenuhi dan masih sangat mungkin untuk dilanjutkan pembangunannya tanpa harus melakukan pembangunan ulang.

Tingkat *verticality* yang bervariasi disebabkan karena tinggi masing-masing sampel tiang yang diuji berbeda-beda. Tinggi sampel tiang yang berbeda juga mempengaruhi besarnya toleransi *verticality* untuk masing-masing tiang. Semakin tinggi tiang, risiko bangunan mengalami kemiringan akan lebih tinggi dan toleransinya akan semakin ketat. Selain itu, jika dilihat dari arah kemiringan resultan sumbu X dan sumbu Y mayoritas mengarah ke arah tenggara. Informasi arah kemiringan tersebut berguna untuk mengantisipasi terjadinya kemiringan ke arah yang sama, sehingga perlu dilakukan perkuatan pada bangunan untuk mengurangi besar kemiringan ke arah tersebut agar bangunan boiler tetap dapat dilanjutkan pembangunannya.

4. Kesimpulan

Kesimpulan hasil kajian ini sebagai berikut:

- a. Tingkat *verticality* pada 31 sampel memiliki nilai yang bervariasi. Tingkat *verticality* pada arah sumbu X

mayoritas menuju ke arah sumbu X positif. Tingkat *verticality* pada arah sumbu Y mayoritas menuju ke arah sumbu Y negatif. Pada resultan antara sumbu X dan sumbu Y diperoleh nilai tingkat *verticality* antara 0° 0' 45,225" hingga 0° 4' 15,674", dengan rata-rata tingkat *verticality* sebesar 0° 2' 27,057" pada semua tiang yang diuji.

- b. Tingkat *verticality* yang diperoleh dari hasil pengukuran TLS tersebut memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan toleransi yang ada pada standar *Queensland Building and Construction Admission Standards and Tolerances Guide* tahun 2016 pada semua tiang yang diuji. Oleh karena itu, konstruksi bangunan *boiler* yang ada di Desa Waai, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku masih memenuhi persyaratan untuk dapat dilanjutkan pembangunannya tanpa harus membangun ulang konstruksi bangunan boiler tersebut.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

6. Referensi

- Biro Perencanaan dan Kerja Sama Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya (2015) *Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2015-2019*. Jakarta: Kementrian ESDM.
- CD Surveys (2015) *Site Engineering Services*. Available at: <http://www.cdsurveys.com/site-engineering-services>.
- Genchten, B. Van (2008) *Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning, Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying in Risk Awareness Project*. doi: 978-84-8363-312-0.
- Hidaka, N., Michikawa, T., Motamedi, A., Yabuki, N., dan Fukuda, T (2018) 'Polygonization of point clouds of repetitive components in civil infrastructure based on geometric similarities', *Automation in Construction*, 86(November 2017), pp. 99–117. doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.014.
- Kregar, K. Ambrožič, T., Kogoj, D., Vežočanik, R., dan Majertič, A. (2015) 'Determining the inclination of tall chimneys using the TPS and TLS approach', *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 75, pp. 354–363. doi: 10.1016/j.measurement.2015.08.006.
- Queensland Building and Construction Commission (2016) *Standards and Tolerances Guide*. Available at: https://www.qbcc.qld.gov.au/sites/default/files/Standards_and_Tolerances_Guide_0.pdf.
- Soudarissanane, S. (2016) *The Geometry of Terrestrial Laser Scanning: Identification of Errors, Modeling and Mitigation of Scanning Geometry*.
- Victorian Building Commission (2015) *Guide to Standards and Tolerance*